

УДК 621.396

Г. Г. БОРТНИК, В. В. КИЧАК, Н. О. ПУНЧЕНКО

Вінницький національний технічний університет. Вінниця

**ОЦІНЮВАННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПОБУДОВІ НАДВИСОКОЧАСТОТНИХ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ**

**Анотація.** Розроблено метод оцінювання виграшу по завадостійкості при застосуванні частотно-імпульсного методу кодування інформації. Показано, що застосування частотно-імпульсного методу кодування інформації дає можливість суттєво підвищити завадостійкість пристроїв передавання та оброблення інформації, а виграш по завадостійкості може перевищувати декілька одиниць і залежить від індексу модуляції.

**Ключові слова:** частотно-імпульсний метод кодування інформації, частотна модуляція, завадостійкість.

**Анотация.** Разработан метод оценки выигрыша по помехоустойчивости при использовании частотно-импульсного метода кодирования информации. Показано, что применение частотно-импульсного метода кодирования информации дает возможность значительно повысить помехоустойчивость устройств передачи и обработки информации, а выигрыш по помехоустойчивости может превышать несколько единиц и зависит от индекса модуляции.

**Ключевые слова:** частотно-импульсный метод кодирования информации, частотная модуляция, помехоустойчивость.

**Abstract.** The noise-stability gain estimation method at information pulse-frequency coding application is developed. The information pulse-frequency coding application is shown to allow information transmission and processing devices' noise-stability significant increasing, also the noise-stability gain is shown to exceed several unities and to depend on a modulation index.

**Keywords:** information pulse-frequency coding application, pulses modulation, significant.

**Вступ**

При розробці цифрових пристроїв і систем передавання та оброблення інформації важливим є їх здатність протистояти дії шкідливих завад, які приводять до зниження достовірності переданого повідомлення. Одним із важливих показників якості та достовірності оброблення та передавання інформації є завадостійкість. Оскільки в діапазоні надвисоких частот доцільно використовувати частотно-імпульсний метод кодування інформації [1], тому доцільно оцінити його завадостійкість у порівнянні з традиційним імпульсно-потенціальним методом кодування інформації.

**Постановка задачі**

Завданням цієї праці є розробка методу оцінювання завадостійкості при кодуванні інформації частотно-імпульсними сигналами та дослідження її залежності від параметрів модульованих сигналів і частотної модуляції.

**Розв'язання задачі**

Частинним критерієм якості передавання сигналів при використанні модуляції є відношення сигнал/шум на виході демодулятора (приймача)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вих}} = \frac{P}{P_{\text{швих}}} = \frac{P}{P_{\text{свих}}}.$$

Якщо  $K = \frac{U_m}{U_g}$  – пік-фактор сигналу і  $U_m = 1$ , то  $U_g = \frac{1}{K}$  і потужність сигналу визначається за

виразом

$$P_{\text{свих}} = \frac{1}{K^2}.$$

Тоді відношення сигнал/шум на виході демодулятора (приймача) визначається за співвідношенням

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вих}} = \frac{1}{K^2 \int_0^C N_m(t) dt}, \quad (1)$$

де  $N_m(t)$  – спектральна густина потужності шуму.

Другою важливою характеристикою радіотехнічних пристроїв приймання та оброблення сигналів є відношення сигнал/шум на вході демодулятора

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{ВХ}} = \frac{P_{\text{СВХ}}}{P_{\text{ШВХ}}} - \frac{P_{\text{СВХ}}}{N_0 F}, \quad (2)$$

де  $N_0$  - спектральна густина потужності білого шуму.

Узагальнений критерій якості (завадостійкості) пристрою модуляції сигналів, або виграш при застосуванні відповідного методу модуляції можна розрахувати за виразом [2]

$$Q = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{ВІХ}}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{ВХ}}}. \quad (3)$$

Цей критерій слугує мірою достовірності приймання сигналів для заданого виду модуляції.

При  $Q > 1$  - відношення сигнал/шум у процесі модуляції зростає, при  $Q < 1$  - відношення сигнал/шум у процесі модуляції зменшується, і замість виграшу система модуляції дає програш, тобто вплив шуму на виході демодулятора (приймача) підвищується.

Проведемо аналіз завадостійкості при застосуванні частотної модуляції.

Частотна модуляція відноситься до інтегральних видів модуляції, тобто модульований сигнал входить у вираз для ЧМ-сигналу під знаком інтегралу. Окрім того, ЧМ – нелінійна модуляція, тому що ЧМ-сигнал можна отримати з модульованого сигналу  $S(t)$  шляхом виконання нелінійних операцій.

$$U_{\text{ЧМ}}(S, t) = U_0 \cos[\omega_0 t + \Delta\omega\psi(t)], \quad (4)$$

де  $\Delta\omega$  - девіація частоти;  $\psi(t) = \int_0^t S(\tau) d\tau$  - повна фаза сигналу.

Потенційна завадостійкість ЧМ визначається на базі виразу для вихідного шуму приймача [3]

$$G_{\text{Ш}}(f) = \frac{(2\pi f)^2 N_0}{\left(\frac{dU}{d\psi}\right)^2}, \quad (5)$$

~~~~~ - усереднення у часі;

————— - усереднення за реалізацією (ансамблем).

Тобто, енергетичний спектр завади на виході ЧМ-приймача є параболічним (пропорційним квадрату частоти) або «рожевий шум».

Для ЧМ-сигналу (4) знайдемо частинну похідну

$$\frac{\partial U}{\partial \psi} = -\Delta\omega U_0 \sin[\omega_0 t + \Delta\omega\psi(t)]. \quad (6)$$

Виконаємо усереднення квадрату частинної похідної ЧМ-сигналу у часі за реалізацією.

$$\begin{aligned} \overline{\left(\frac{\partial U}{\partial \psi}\right)^2} &= \frac{1}{T} \int_0^T dt = \frac{\Delta\omega^2 U_0^2}{T} \int_0^T \sin^2[\omega_0 t + \Delta\omega\psi(t)] dt = \\ &= \frac{\Delta\omega^2 U_0^2}{2T} \int_0^T \{1 + \cos[2\omega_0 t + \Delta\omega\psi(t)]\} dt = \frac{1}{2} \Delta\omega^2 U_0^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Оскільки  $\omega_0 T \gg 1$ , тому значення  $\int_0^T \cos 2\omega_0 t \cdot dt = \frac{\sin 2\omega_0 T}{2\omega_0} < \frac{1}{2\omega_0}$  логічно не враховувати. Підставивши (7) в (5) отримаємо:

$$G_{\text{Ш}}(t) = 2 \left( \frac{2\pi f}{\Delta\omega} \right)^2 \frac{N_0}{U_0^2} \quad (8)$$

Модульований ЧМ-сигнал – нестационарний процес, тому для знаходження його потужності необхідно виконати усереднення квадрату сигналу у часі та за реалізацією

$$P_{C_{вих}} = \overline{U_{\text{ЧМ}}^2(S, t)} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{\text{ЧМ}}^2(S, t) dt = \frac{1}{2T} U_0^2 \left\{ 1 + \cos \left[ 2\omega_0 t + \Delta\omega \overline{\psi(t)} \right] \right\} dt = \frac{1}{2} U_0^2 \quad (9)$$

Модульований сигнал  $S(t)$  – центрований сигнал, тому  $\overline{\psi(t)} = 0$ .

Знаходимо виграш ЧМ-системи модуляції, підставивши у вираз (3) вирази (1), (2) і (8), (9)

$$Q_{\text{ЧМ}} = \frac{N_0 \Delta F_{\text{сфм}}}{K^2 \frac{1}{2} U_0^2 \int_0^C 2 \left( \frac{2\pi f}{2\pi \Delta f} \right)^2 \frac{N_0}{U_0^2} df} = \frac{3\Delta f^2 \Delta F_{\text{сфм}}}{k^2 F_C^3} = \frac{3m_{\text{ЧМ}}^2 \Delta F_{\text{сфм}}}{k^2 F_C}, \quad (10)$$

де  $\Delta F_{\text{сфм}}$  – смуга частот ЧМ – сигналу;  $F_C$  – максимальна частота модульованого сигналу;  $m_{\text{ЧМ}}$  – індекс

$$\text{ЧМ}; m_{\text{ЧМ}} = \frac{\Delta f}{F_C}.$$

Введемо частинний критерій частотної надлишковості  $\beta_f = \frac{\Delta f_{\text{сфм}}}{F_C}$ .

Тоді вираз (10) буде виглядати

$$Q = \frac{3m^2 \beta_{f_{\text{ЧМ}}}}{k^2}. \quad (11)$$

При ЧМ виграш може бути значно вищим 1, тобто  $Q_{\text{ЧМ}} \gg 1$ . Це  $Q_{\text{ЧМ}}$  досягається за рахунок розширення смуги частот ЧМ сигналу при збільшенні  $m$ . Таким чином, ЧМ – завадостійкість може бути підвищеною не тільки за рахунок збільшення потужності сигналу  $P_C$ , але і за рахунок розширення смуги робочих частот

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} = 2f_B \left( 1 + m_{\text{ЧМ}} + \sqrt{m_{\text{ЧМ}}} \right) - \text{формула Манаєва для } m=0, 1, 2, \dots, 20,$$

де  $f_B$  – верхня частота модульованого сигналу.

Розрахунки проводились для синусоїдального моделювального сигналу –  $k = \sqrt{2}$ , телевізійного сигналу –  $k = \sqrt{3}$  та багатотонального сигналу –  $k = 4$ .

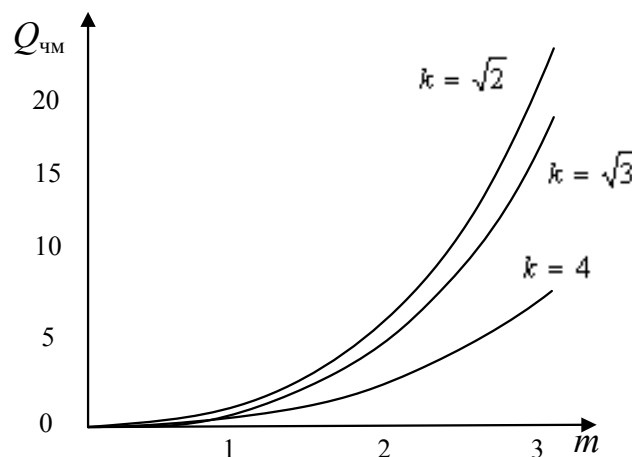


Рисунок 1 – Залежність виграшу по завадостійкості від індексу модуляції для частотно-модульованих сигналів

Як видно із рис. 3.1, при індексі модуляції більше 1, виграш по завадостійкості перевищує 1 і досягає більше 8 при  $m$  більше 3.

### **Висновки**

Розроблено метод оцінювання завадостійкості при застосуванні частотно-модульованих сигналів для кодування інформації. Показано, що вираз по завадостійкості залежить від індексу модуляції та може досягати більше 8 при індексі модуляції більше 3.

### **Список літератури**

1. Кичак В.М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2005. – 291 с.
  2. Бондарев А.П. Критерій граничної завадостійкості системи фазової синхронізації. /А.П.Бондарев, О.В.Капшій. //Вісник ДУ «ЛП» Радіоелектроніка та телекомунікації. – 1998. – №352. –С. 98-100.
  3. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации. / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь. – 1985. –272 с.
- Стаття надійшла: 10.06.2015.

### **Відомості про авторів**

**Бортник Геннадій Григорович**, доцент, к.т.н, проф. кафедри ТКСТБ, ВНТУ.

**Кичак Володимир Васильович**, к.т.н., асистент кафедри ТКСТБ, ВНТУ.

**Пунченко Наталя Олегівна**, к.т.н доцент кафедри метрології Одеської національної академії зв'язку.